

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360217

研究課題名（和文）河川感潮域における出水時と平常時の遷移過程に関する研究

研究課題名（英文）Transition of hydraulic and sedimentary conditions in a river estuary under seasonal flow variations

研究代表者

石川 忠晴（ISHIKAWA TADAHARU）

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：50159696

研究成果の概要（和文）：

河川感潮域では出水時と平常時で著しく異なる水理状態が現れるが、今までは別々に議論されてきた。本研究では、利根川感潮域を対象として、現地観測、底質分析、洪水写真解析、数値解析により、2つの状態を結びつけて以下の現象について定量的な研究成果を得た。①平水と出水の遷移過程における塩水楔の運動。②出水期と低水期を通した河床材料の変化。③出水による細粒底質の洗掘過程および塩水侵入下での細粒底質の回帰過程。

研究成果の概要（英文）：

In an estuarine reach of a river, hydraulic condition changes largely in flood term and normal flow term, the flow characteristics of which have been discussed separately. Considering continuity of the two conditions, the phenomena listed below were studied quantitatively in the Tone River Estuary by field experiments, sediment analysis, aerial photo analysis and numerical simulation; (1) dynamic motion of saline wedge in a transitional condition between flood flow and normal flow; (2) variation of bed sediment characteristics through flood season and low water season; (3) scouring of fine bed sediment during a flood and their returning under saline wedge intrusion.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：河川感潮域、水環境、塩水楔、河床材料、現地観測、航空写真解析、数値計算

1. 研究開始当初の背景

河川感潮域は、出水時には淡水が一方に流れるが、平常時には底層に塩水が侵入し汽水状態が形成され、潮汐による非定常運動が卓越する。すなわちエスチュアリとしての性格が強くなる。しかし我が国の制度では感潮域を河川の一部として取り扱うため、水域管

理において上述した水理特性が十分考慮されていない。また塩水流動に関する従来の研究は平常時の状況に集中しており、出水時と平水時を通した状態変化についてはほとんど研究されていなかった。

一方、河川感潮域の水質環境は底質の中の細粒分の影響を強く受ける。懸濁物質が汽水域に流入するとフロックを形成し沈澱する

ため、河床はシルト以下の細粒分に覆われる傾向にある。細粒分は有機物や種々の元素を付着させており、貧酸素水塊の発生など水質に与える影響が大きい。これらの細粒底質は出水時にフラッシュされるが、過去の調査によれば数カ月後にはまた河床を覆うようになる。しかしその過程についてはほとんど研究されていない。

2. 研究の目的

本研究では、利根川河口堰下流部の汽水域を対象に、出水の Impact がその後の河川環境に与える影響を次の観点から明らかにすることとした。

①塩水楔の運動が最も顕著になる“出水時と平水時の中間的流量条件”において塩水楔の運動を把握する。

②汽水域の河床表層材料を長期にわたって採取分析し、細粒土砂の空間分布の季節変動と水理条件との関係を把握する。

③平常時に河床表層を構成するシルト以下の細粒分が出水時において洗掘される過程と、塩水侵入に伴って細粒分が回帰する過程を把握する。

3. 研究の方法

(1) 塩水楔の運動

過去の水文資料をもとに出水と平水の中間的流量条件の発生を予測し現地観測を行う。観測では塩水楔の先端の位置をモニターしながら観測船を移動させ、多項目水質計と ADCP を用いて先端部分の塩分等の状況を計測する。続いて本研究室で開発している塩水流動モデルを用いて塩水楔の運動を再現する。

(2) 河床構成材料の季節変化特性

月一回の頻度で滞りに沿って河床材料を採取し、粒度分布解析を行い、季節的な変動とその要因を明らかにする。また粗粒化が進んだ時点と細粒化が進んだ時点において縦横断的に細密な河床材料調査を行い、空間分布の詳細を把握する。

(3) 細粒土砂の流失および回帰過程

出水に伴う細粒分の流失過程を、洪水航空写真をステレオ解析して把握する。また流失のメカニズムを推定し数値シミュレーションモデルを組み立てる。さらに出水後に細粒分が回帰する過程を底質の化学分析に基づき推定し、数値シミュレーションモデルにより再現を試みる。

4. 研究成果

(1) 塩水楔の運動

利根川河口堰下流での塩分観測から、利根川汽水域では河口堰が全開になる流量で塩水楔が移動を開始することがわかった。そこ

で過去の水文資料を調べ、観測の安全性を考慮し、布川流量が $400\text{m}^3/\text{s}$ 近辺の条件を設定した。数度の試行の後、2009年6月23日～25日、7月30日～8月1日、9月3日～5日に有効な観測データを得られた。図1に6月25日の水理条件と1回目および3回目の計測結果を示す。塩水楔が河口に向けて大きく後退している様子がわかる。また後退時に楔先端から塩水が上層に連行されていることがわかる。このようなデータが多数得られ、塩水楔の移動特性を総合的に把握できた。

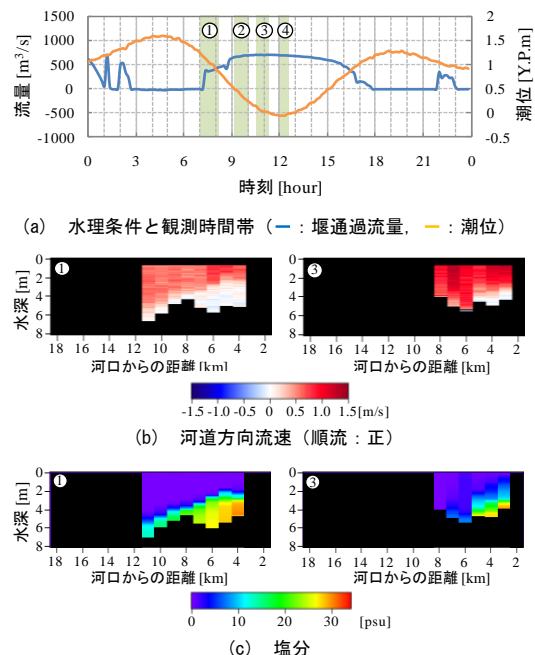
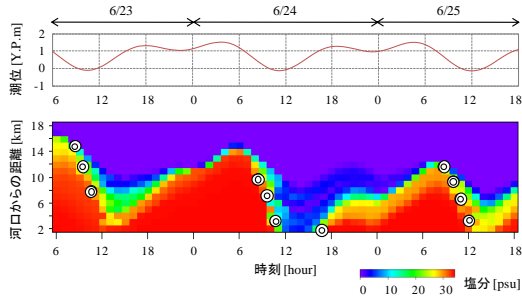


図1 塩水楔観測結果の例 (2009年6月25日)

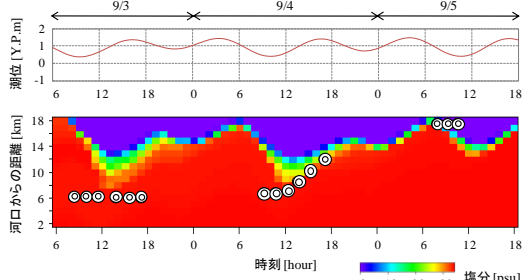
CIP-Soroban 法に基づく鉛直 2D 塩水流動モデルにより塩水楔の運動の再現を試みた。図2に6月観測(a)と9月観測(b)の結果を示す。横軸が時間、縦軸が距離で、色は数値シミュレーションから得られた河床上塩分を示している。一方◎印は現地観測で捉えられた塩水楔先端の位置を示している。6月観測では塩水楔の侵入が、9月観測では後退の様子が観測されている。これから6月観測での塩水楔の運動を数値シミュレーションモデルがよく再現していることがわかる。しかし9月3日には大きな誤差が出ている。この時には台風が接近し河口部で高波浪が生じていた。このため鉛直混合が強まり密度成層強度が減じて塩水楔が侵入できなかったと考えられる。したがって塩水楔の位置が大きく変動する流量条件の場合、河口外部の波浪状況も塩水侵入に強い影響を与えるものと考えられる。

本研究では CIP-Soroban 法による 3D 塩水流動モデルも作成した。ただし上述した塩水楔が大きく位置を変える過程での流動場の再現性はよくなかった。しかし塩水楔の位置が安定している時期の再現性はよかった。そ

の結果の一例を図3に示す。

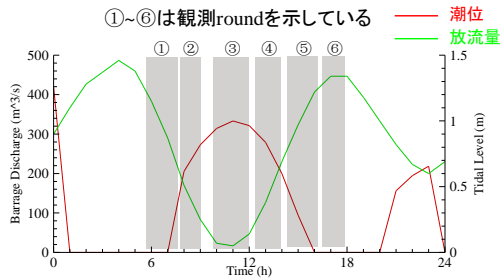


(a) 6月観測

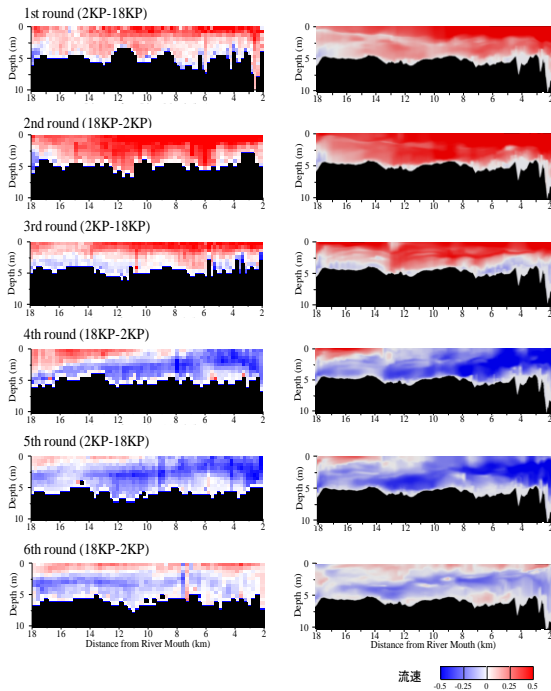


(b) 9月観測

図2 塩水楔先端の移動状況



(a) 河口堰放流量と潮位



(b) 流速縦断分布(左:観測結果、右:計算結果)

図3 3Dモデルによる塩水流動再現結果

(2) 河床材料の季節変動

2008年6月から2011年2月まで、ほぼ一カ月おきに滞筋に沿って河床材料を縦断的に採取し分析した。サンプル数は約400である。その結果、ほとんど全ての河床材料が3つの粒径集団(シルト成分、細砂成分、粗砂成分と便宜的に称する)の合成として表現できることがわかった。図4にその例を示す。棒グラフが粒度分布、色線が各成分の割合で、図(a)はシルト成分のみ、図(b)はシルト成分と細砂成分、図(c)はシルト成分と粗砂成分、図(d)は3者の混合である。

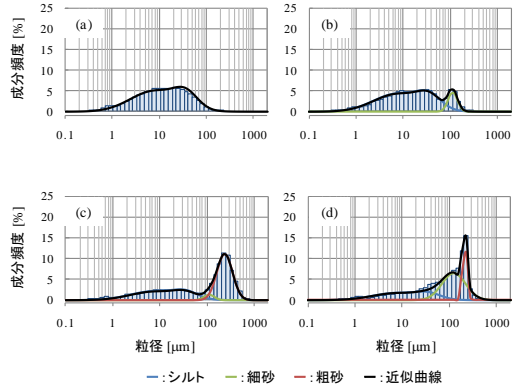


図4 粒度分布再現結果の一例

次に3成分の配合の時間変化を検討した。データ量が大きいので、粗粒化が進行している時点と細粒化が進行している時点の例を図5に示す。一般に流量の多い夏季から晩秋にかけて粗粒化し、流量の少ない冬から春にかけて細粒化する。しかし粗粒化の程度は必ずしも流量に比例せず、利根川河口堰が全開放流している時間長との相関が高かった。また粗粒化が生じる区間は、本研究の期間内では7KP(KP:河口から上流向きにkm距離)より上流に限られた。これは、後に述べるように、平水時に下流から輸送される細粒土砂の堆積厚さに関係していると推測された。

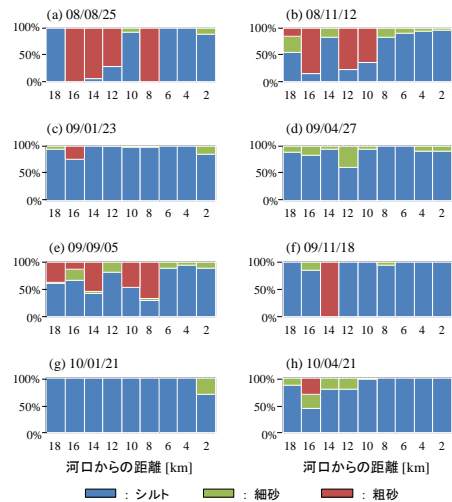


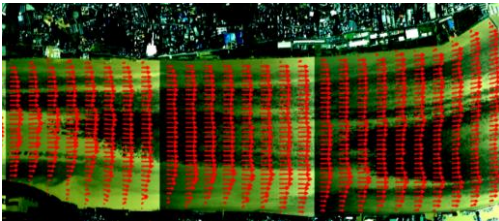
図5 河床材料構成の季節変化

(3) 出水時の細粒土砂の輸送

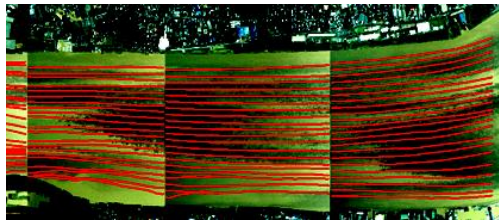
出水時の現地観測は困難なことから、本研究では既往の洪水時航空写真をステレオ解析して洗掘機構を調べた。図6の(a)は2001年9月出水時に利根川汽水域で撮影された垂直写真である。水面に黒色の模様が見られるが、これは嫌気化している細粒土砂が河床から巻き上がっている様子を示している。これを解析して得られた流速ベクトル図を(b)に流線図を(c)に示す。図(b)より黒色の模様の部分が周囲より流速が低下していることがわかる。つまり底層水が水面に出てきていると考えられる。しかし図(c)では模様の外縁線と流線が一致していないことから、二次流による湧きあがりではないものと考えられる。以上のことから、何らかの原因によって鉛直混合が局所的に強まることにより、底層水が水面まで拡散しているものと考えられた。



(a) 航空写真に撮影された模様



(b) 解析結果(流速ベクトル)



(c) 解析結果(流線)

図6 嫌気化した細粒分の巻き上がり

図6と河床地形との対応を精査したところ、黒色模様の先端部はいずれも河床が周囲より窪んでいる部分に対応していた。また2.5D数値シミュレーションの結果では、黒色模様の側方への広がりには流速鉛直勾配の不連続性に起因するものと考えられた。そこで2.5D数値モデルの乱流生成項にそれらの効果を挿入しモデルを改良し、対象河道と同様のスケールのモデル河道に窪みを設置して計算を行ったところ、渦粘性係数の平面分布が図7のように得られた。模様の形状と大きさが現地の状況と酷似していることがわかる。

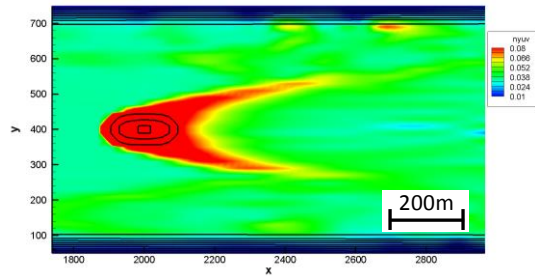
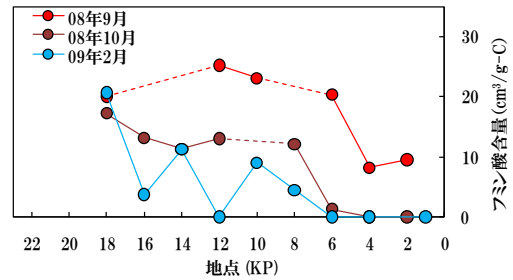


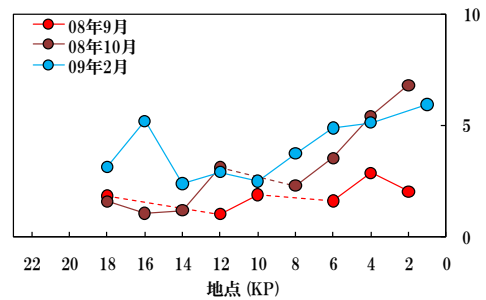
図7 数値シミュレーションによる乱流スポット

(4) 細粒土砂の回帰過程

豊水期に河床材料が粗粒化して数カ月後には再び細粒化する。この細粒分の輸送過程を調べるために、採取した細粒土砂のフミン酸含有量と600℃強熱減量を調べた。どちらも難分解性であることから細粒土砂の運動を表わすトレーサーとして使用できると考えた。図8に2008年夏～2009年冬の変化を縦断分布で示す。これより豊水期にはフミン質が全体に多いが、低水期に移行すると下流側から減少することがわかる。また600℃強熱減量は豊水期には全体に低い、低水期には下流側から順に増大する。このことから細粒の河床材料は河口から上流に輸送されているものと推測された。



(a) フミン酸

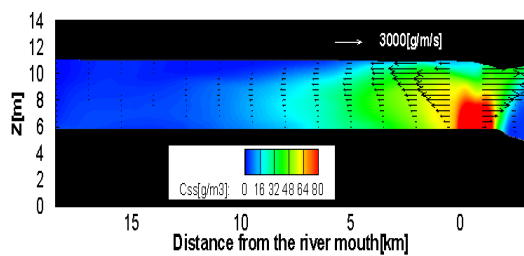


(b) 600℃強熱減量

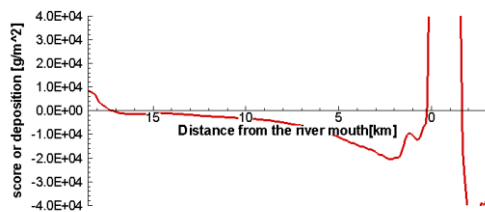
図8 細粒分の性質の季節変化

鉛直2D塩水流動モデルに細粒土砂の輸送モデルを組み込み、平水時における細粒土砂の回帰過程を計算した。浮上速度の設定には本研究室が過去に行った現地観測の結果と既往文献を参考にした。また実際には河口狭窄部の浅瀬付近での碎波により細粒土砂が巻き上げられるので、その部分(-1.5KP~0KP)では浮上速度を大きくした。図9に結果

を示す。図(a)の背景の色は1潮汐平均の土砂濃度、ベクトルは1潮汐平均のフラックスの空間分布を示す。また(b)には洗掘/堆積量の縦断分布を示す。河口付近で洗掘され浮上した細粒土砂が上流に輸送されることがわかる。また8KPを境にして上流側の堆積量が少ないことがわかる。この結果は、(2)で述べた粗粒化の生じやすい区間に対応している。



(a) 1潮汐平均の濃度およびフラックス



(b) 洗掘/堆積量

図9 細粒分の回帰課程

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ①小林侑、佐々木努、石川忠晴
利根川感潮域における塩水流動の現地観測および数値シミュレーション、水工学論文集、55巻、1597-1602、2011年、査読有
- ②石川忠晴、松延和彦、箕浦靖久、佐々木努
利根川汽水域における細粒底質の浮上現象について、水工学論文集、55巻、1615-1620
2011年、査読有
- ③小林侑、佐々木努、石川忠晴、箕浦靖久
利根川感潮域における底質特性の季節変動について、水工学論文集、54巻、679-684、
2010年、査読有
- ④吉田圭介、石川忠晴、箕浦靖久
準3次元CIP-Sorobanモデルによる利根川洪水流の大規模数値計算、水工学論文集、53巻
877-882、2009年、査読有
- ⑤箕浦靖久、石川忠晴、吉田圭介
実体視と画像相関解析を併用した洪水航空写真解析手法の構築と検証、水工学論文集、
53巻、997-1002、2009年、査読有

[学会発表] (計6件)

- ①坂上伸生、山崎賢一、佐藤嘉則、太田寛行
渡邊眞紀子、石川忠晴
利根川感潮域における細粒底質の無機成分動態と微生物多様性、日本地理学会2011年春季学術大会、2011年3月29日(中止)、中止のため紙上発表
- ②山崎賢一、坂上伸生、渡邊眞紀子、石川忠晴
有機物に着目した利根川感潮域底質の時空間的分布、社団法人環境科学会2010年、2010年9月16日、東洋大学
- ③小林侑、佐々木努、石川忠晴
利根川感潮域における塩水流動の現地観測および数値計算、土木学会第65回年次学術講演会、2010年9月1日、北海道大学
- ④小林侑、佐々木努、箕浦靖久、石川忠晴
Variation of sediment characteristics in the Tone River Estuary、The 3rd International Conference on Estuaries and Coasts、2009年9月14日～16日、東北大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 忠晴 (ISHIKAWA TADAHARU)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授
研究者番号：50159696